

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 11-109299

(43)Date of publication of application : 23.04.1999

(51)Int.Cl.

G02F 1/03

(21)Application number : 09-268394

(71)Applicant : UNIV OSAKA

(22)Date of filing : 01.10.1997

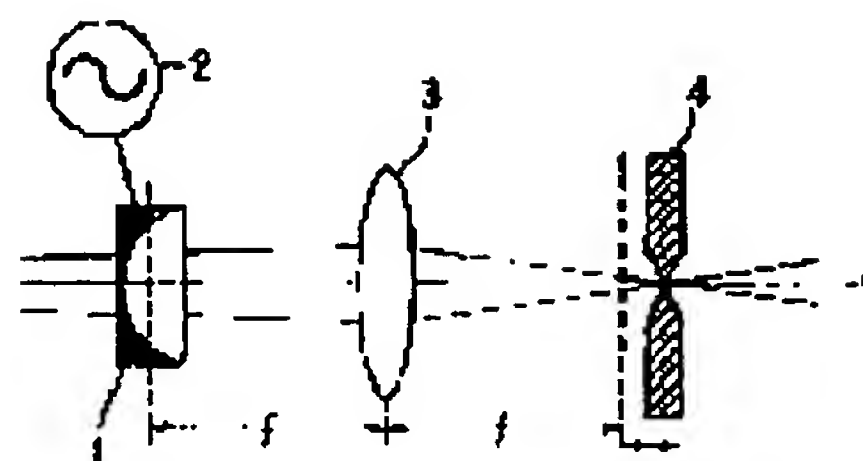
(72)Inventor : KOBAYASHI TETSUO

(54) OPTICAL MODULATOR

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical modulator generating a uniform optical side band over a super wide band.

SOLUTION: This optical modulator is provided with an electrooptical phase modulator 1 phase modulating a light beam from a light source according to a modulation signal and emitting it as the light beam imparted with a lens action, a drive voltage source 2 supplying a drive modulation signal to this modulator, a convergent lens 3 converging the phase modulated light beam and an aperture diaphragm 4 arranged on a convergent point or its vicinity of a convergent beam, and selectively takes the specified phase modulated light beam out.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 01.10.1997

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number] 3012921

[Date of registration] 17.12.1999

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開平11-109299

(43)公開日 平成11年(1999)4月23日

(51)Int.Cl.⁸

G 0 2 F 1/03

識別記号

5 0 5

F I

G 0 2 F 1/03

5 0 5

審査請求 有 請求項の数6 O L (全 6 頁)

(21)出願番号 特願平9-268394

(22)出願日 平成9年(1997)10月1日

(71)出願人 391016945

大阪大学長

大阪府吹田市山田丘1番1号

(72)発明者 小林 哲郎

兵庫県宝塚市中山五月台2-3-4

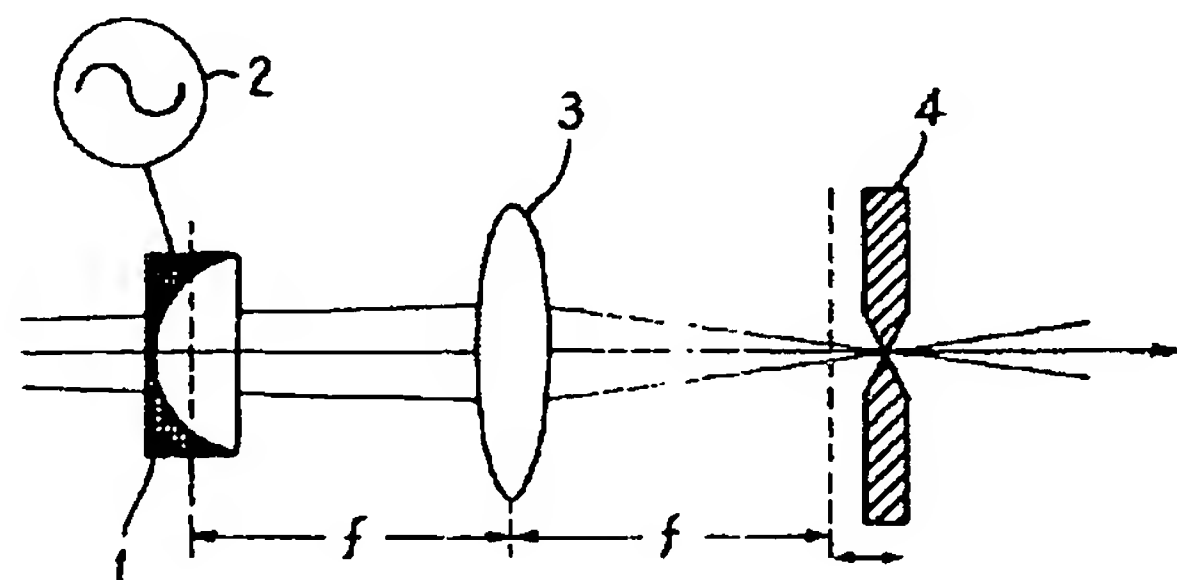
(74)代理人 弁理士 杉村 暁秀 (外8名)

(54)【発明の名称】 光変調装置

(57)【要約】

【課題】 超広帯域にわたって一様な光サイドバンドを生成することができる光変調装置を提供する。

【解決手段】 本発明による光変調装置は、光源からの光ビームを変調信号に応じて位相変調すると共にレンズ作用を受けた光ビームとして出射させる電気光学位相変調器(1)と、この変調器に駆動変調信号を供給する駆動電圧源(2)と、位相変調された光ビームを集束させる集束性レンズ(3)と、集束ビームの集束点又はその近傍に配置した開口絞り(4)とを具え、特定の位相変調を受けた光ビームを選択的に取り出すことを特徴とする。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】 光源からの光ビームを変調信号に応じて位相変調すると共にレンズ作用を受けた光ビームとして出射させる電気光学位相変調器と、

この変調器に駆動変調信号を供給する駆動電圧源と、位相変調された光ビームを集束させる集束性レンズと、集束した光ビームの集束点又はその近傍に配置した開口絞りとを具え、特定の位相変調を受けた光ビームを選択的に取り出すことを特徴とする光変調装置。

【請求項 2】 前記電気光学位相変調器を、その変調指数が中央部で最大となり、周辺に向かうにしたがって 2 次関数的に減少するように構成したことを特徴とする請求項 1 に記載の光変調装置。

【請求項 3】 前記電気光学位相変調器の変調指数が光軸と直交する面内において 1 次元方向に沿って 2 次関数状に変化し、前記開口絞りがスリット状の開口を有することを特徴とする請求項 2 に記載の光変調装置。

【請求項 4】 前記開口絞りを光軸方向に沿って移動可能に配置したことを特徴とする請求項 1 に記載の光変調装置。

【請求項 5】 前記集束性レンズをフーリエ変換レンズで構成し、前記開口絞りをフーリエ変換面又はその近傍に配置したことを特徴とする請求項 1 に記載の光変調装置。

【請求項 6】 前記電気光学変調器の近傍にバイアスレンズを配置し、変調された光ビームの集束点を前記開口絞りに対して変位させることを特徴とする請求項 1 に記載の光変調装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は光変調器、特に所望の変調状態の光ビームを選択的に取り出すことができる光変調器に関するものである。

【0002】

【従来の技術】 周波数間隔が正確に等間隔に並び相対的に位相関係も固定され、全体として広帯域をカバーする多数の光源群は、光計測、波長（あるいは周波数）多重通信、分光、任意波形パルス合成（いわゆるパルス合成シンセサイザ）、光シンセサイザ、周波数コム発生器など多くの用途に使用でき、光エレクトロニクスの基本機器となるものである。このような多数の光源群の発生方法として従来技術には顕著なものはなく、強いて言うなら研究室段階にある変調サイドバンドの利用が従来技術に当たる。

【0003】 電気光学変調器や音響光学変調器を単一周波数の正弦波電気信号で駆動すると、入射光（搬送波）の周波数から変調周波数の整数倍だけ離れたところにサイドバンドが生成される。変調駆動信号の変調パワーが小さい場合は、このサイドバンドは搬送波の両脇に 1 つずつ出のみであるが、変調駆動信号の変調パワーが大

きくなるとサイドバンドの数が増加し、10 本を超えることも珍しくはなく、これに伴いサイドバンドがカバーする光の周波数帯域を広げることができる。

【0004】 いくつかの変調方式の中でサイドバンドの生成効率の良好なものは位相変調である。位相変調の場合、基本的には変調に伴う光パワーの損失はない。変調によるサイドバンドは搬送波の両側にほぼ変調指数程度の数だけ生成される（例えば位相変調指数を $\Delta\theta$ とするとサイドバンド数は両側合わせてほぼ $2\Delta\theta$ 本となる。

従って、変調周波数を f_m とするとサイドバンドの周波数幅は約 $2\Delta\theta f_m$ になる。この結果、10 GHz 程度の変調周波数で変調指数が 50 程度あると、10 GHz 毎に並び、1 THz 以上に広がった光サイドバンド列が生成される。

【0005】 このように、広い周波数領域で等間隔に並び、広い帯域の多くの光周波数成分が生成できると以下の有用な光エレクトロニクスの基本光発生器を実現することができる。

(1) 波形合成して超短パルスを生成する光パルスシンセサイザ

(2) 波長多重通信の基準光源

(3) 測定計測用の周波数基準コム発生器

【0006】 本発明者等の文献「3 THz サイドバンド ジェネレーション バイ エレクトロ-optic モジュレーション アンド ザ アプリケーション ツウウルトラショット パルス ジェネレーション」 Technical Digest of Pacific Rim Conference on Lasers and Electro-Optics (CLEO), FV1, pp. 234-235 (1995) に記載されているように、本発明者等は電気光学位相変調器により 16 GHz の変調周波数で 16 GHz 間隔に並ぶ 3 THz にも及ぶ広帯域サイドバンド列を生成することに成功しており、これによりサブピコ秒のパルス合成を行っている。

【0007】 さらに、本発明者の特許文献である特公平 6-54820 号公報に示すように、電気光学位相変調器を光共振器であるファブリー・ペロー共振器内部に挿入し、光の走行周期に同期した駆動周波数の位相変調を行う同期多重干渉形の変調器（ファブリー・ペロー形変調器と呼ばれる）もこの目的に利用されている。ファブリー・ペロー形変調器の出力は変調周期よりも一層短い光パルス列となり、本発明者等が超短光パルス発生器として開発を進めてきたものであるが、その周波数スペクトルも等間隔で非常に広帯域に広がった線スペクトル列となり、広帯域サイドバンド生成器としても有用で、最近では周波数コム発生器としてもよく利用されている。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】 上述した本発明者による位相変調器を用いたサイドバンド生成方法は、学術的及び実用的な観点より多数の有用な利点を有している。一方、このサイドバンド生成方式を一層有用なものとする

るため、以下の点について改善することが望まれている。

【0009】(1) サイドバンドの強度分布の一様性
位相変調の場合は n ($n=0$: 搬送波、 ± 1 , ± 2 , ...) 番目のサイドバンドの振幅分布は $J_n(\Delta\theta)$ に比例するので、その大きさは n に関して大きく変動し、ある n では殆どサイドバンド強度がないという場合も起こりうる。これは周波数コム光源、あるいはシンセサイザ用光源のいずれの場合にも改良が望まれている。

(2) 周波数チャープ圧縮によるパルス生成応用
正弦波電気信号で光波を位相変調すると被変調光波の瞬時周波数も正弦波状で変調される。従ってほぼ時間に対し線形に周波数が増加する(アップチャープする)部分、あるいは逆に周波数が低下(ダウンチャープ)する部分が交互に1周期に各1回ずつ現れる。従って、この周波数チャープに合わせて、周波数に対し線形に遅延伝送遅延時間の異なる群遅延回路を通せば、光パルスが圧縮生成できる。これは簡便な超短光パルス生成法であり、アップチャープに対しては異常分散型(周波数の高いほうが遅延時間が短い)の圧縮回路が、また、ダウンチャープに対しては常分散型の圧縮回路が必要になる。例えば通常に正弦波位相変調器で変調された光に対し、異常分散型圧縮回路を用いると、アップチャープ部は圧縮されて短い幅、すなわち高いピークの光パルスを形成するが、ダウンチャープの部分は拡大されパルス間に残留光として残る。正常群遅延回路を用いるとこれとは逆にダウンチャープの部分は圧縮できるが、アップチャープ部がパルス間にペDESTALとして残存する。従って、いずれもパルス応用を制限しS/N劣化を招いてしまう。

【0010】つぎにファブリー・ペロー電気光学変調器の場合であるが、これは短時間の光シャッタであり、本質的に光エネルギー利用効率の向上が望まれている。上述した特許公報に記載された光パルス発生器では、この点が解決されるものの、2重光共振器構成となるため、システムの安定が難しいという問題点がある。

【0011】従って、本発明の目的は、超広帯域にわたって一様な光サイドバンドを生成することができる光変調装置を提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】本発明による光変調装置は、光源からの光ビームを変調信号に応じて位相変調すると共にレンズ作用を受けた光ビームとして出射させる電気光学位相変調器と、この変調器に駆動変調信号を供給する駆動電圧源と、位相変調された光ビームを集束させる集束性レンズと、集束した光ビームの集束点又はその近傍に配置した開口絞りとを具え、特定の位相変調を受けた光ビームを選択的に取り出すことを特徴とする。

【0013】本発明では、変調器として位相変調すると共にレンズ作用を有する電気光学位相変調器を用いる。

この電気光学位相変調器は、 LiNbO_3 や LiTaO_3 のような電気光学結晶体に電極を設けた構成とし、電極を変調信号を供給する電圧源に接続する。そして、電極形状を適切に設定し、変調電圧が印加された際電気光学結晶体の内部に形成される屈折率分布が、光軸が通る中央部が最大の変調指数となり、周辺に向くにしたがって変調指数が2次関数的に減少するように設定する。このように電極形状を形成することにより、入射ビームに対して位相変調が与えられると共にレンズ作用が与えられる。尚、電気光学位相変調器に形成される指数分布は、シリンドリカルレンズのような1次元方向に変調指数分布を有する1次元レンズとすることができ、或は例えば2個の電気光学位相変調器を組み合わせることにより2次元方向に変調指数分布を有する2次元レンズとすることもできる。

【0014】この電気光学位相変調器にある太さの光ビームが入射すると、この光ビームの断面中央部分は最大の変調深さを受け、周辺に向くに従って変調深さは2次関数的に減少する。すなわち、入射した光ビームの断面の各部分について見ると、ビーム断面の中央のビーム部分が受ける変調深さが最大となり、光軸から離れ部分の受ける変調深さは2次関数的に減少することになる。このような観点に基づけば、本発明による電気光学位相変調器は、変調指数が連続的に変化する多数の変調器を合成したものと考えることができる。この結果、極めて広い帯域にわたって均一な光サイドバンドを生成することができる。

【0015】

【発明の実施の形態】図1は本発明による光変調器の一例の構成を示す線図である。レーザ光源(図示せず)からある太さの光ビームを放出し、この光ビームを電気光学位相変調器1に入射させる。この変調器1には変調信号を供給する駆動用の高周波数電圧源2を接続する。前述したように、電気光学位相変調器1は、光軸Lと交差する中央部の変調指数が最大となり、光軸から離れるにしたがって変調指数が2次関数的に減少するように設定する。従って、入射した光ビームは位相変調に加えてレンズ作用を受けることになる。

【0016】電気光学位相変調器1の後段に集束性レンズ3を配置する。本例では、この集束性レンズ3をフーリエ変換レンズで構成する。集束性レンズ3の焦点距離を f とし、電気光学位相変調器1と集束性レンズ3との間の距離を f とし、集束性レンズ3の出射側のフーリエ変換面又はその近傍に開口絞り4を配置する。開口絞り4は、電気光学位相変調器1が1次元レンズとして作用する場合、そのレンズ作用が生ずる方向に沿って開口したスリットで構成し、2次元レンズとして作用する場合にはピンホールで構成する。そして、開口絞り4は光軸方向に沿って移動可能に配置する。

【0017】電気光学位相変調器1のレンズ作用は、変

調信号に応じて変化し、変調信号が正弦波の場合後述するように、凸レンズの作用を発揮する部分、レンズ作用のない部分及び凹レンズの作用を発揮する部分が交互に発生し、集束点の位置が光軸方向に沿って変位する。このため、開口絞り4は光軸方向に沿って変位可能に配置し、特定の変調状態の光ビームを選択的に出射させる。

【0018】次に、電気光学位相変調器の変調により生成されるサイドバンドについて考える。変調指数が放物線状に変化しているため、レンズ位相変調器の断面位置を光軸と交差する最大変調指数の中央部を基準にして、*10

$$\theta(t, x) = -\Delta\theta(1 - \delta x^2) \sin 2\pi f_m t \quad (2)$$

と放物線状分布となり、このレンズ位相変調器は位相変調効果のみならずレンズ効果を有する。そのレンズとしての焦点距離Fは

$$1/F = (\Delta\theta \lambda \delta / \pi) \sin 2\pi f_m t \quad (3)$$

となり、 $\Delta\theta \sin 2\pi f_m t > 0$ のときは凸レンズ、 $\Delta\theta \sin 2\pi f_m t < 0$ のときは凹レンズとなり変調※

$$\begin{aligned} \nu(t) &= \nu_0 + \partial\theta(t, x) / \partial t / 2\pi \\ &= \nu_0 - f_m \Delta\theta(1 - \delta x^2) \cos 2\pi f_m t \end{aligned} \quad (4)$$

となる。(2)、(4)式を図示したのが図2である。図2A～Cは、位相遅れ、変調された光ビームの瞬時周波数、及び(3)式から導かれる位相変調器のレンズ効果をそれぞれ示す。図2(b)より、変調1周期のうち、 $f_m t = q + 1/2$ (q : 整数)の近傍に変調器を通った光ビームは高周波側に、また、 $f_m t = q$ の近傍を通った光ビームは低周波側にその瞬時周波数は滞留し、 $f_m t = q + 1/4$ の付近の光ビームは低→高の周★

$$e^{j(2\pi\nu_0 t - j\Delta\theta(1 - \delta x^2)\sin 2\pi f_m t)} = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} J_n(\Delta\theta(1 - \delta x^2)) e^{j2\pi(\nu_0 - n f_m)t}$$

(5)

となる。ベッセル関数の性質から通常の位相変調器 ($\delta = 0$) の場合は、両翼で盛り上がった線スペクトル列となるが、 $\delta \neq 0$ の場合は、 x により変調指数が異なるので、全体としては、よりなだらかで両翼がやや抑えられた分布になる。

【0020】図3は開口絞りから出射する変調光信号の形態を示す。図3において、(A)は図2(c)のレンズ作用のない $f_m t = q$ 及び $f_m t = q + 1/2$ に対応し、(B)は図2(c)の凸レンズの作用を行なう $f_m t = q + 1/4$ に対応し、(C)は図2(c)の凹レンズの作用を行なう $f_m t = q + 3/4$ に対応する。前述したように、本発明の位相変調器は、駆動変調信号に応じて周波数変調が行なわれると共にレンズ作用も果たす。そして、図2(c)に示すように、駆動変調信号の1周期中に、レンズ作用のない期間、凸レンズとして作用する期間、レンズ作用のない期間、凹レンズとして作用する期間が順次発生する。従って、変調駆動信号の1周期中に位相変調器の焦点距離も変化し、集束点が光軸

*その中央部からの距離を x にとると x 点を通る光波の受ける位相変調の変調指数は、

$$\text{変調指数} = \Delta\theta(1 - \delta x^2) \quad (1)$$

の形で表すことができる。ここで、 $\delta (> 0)$ は変調指数の変化の度合いを示す定数で $\delta = 0$ は通常の位相変調器に相当する。また、 $\Delta\theta$ は中央部 ($x = 0$) での変調指数である。今これを正にとっておく (中心からの距離を r とし (1) 式 x の代わりに r と置いた形で表せる場合は二次元レンズ位相変調器になる)。変調器の x 地点を通った光波の受ける位相変調は、時間を t として

※一周期のあいだに凹レンズ及び凸レンズとして変化する。

【0019】一方、位相変調は周波数変調を伴う。変調器出口での光波の瞬時周波数は入力光の周波数 (搬送波周波数) を ν_0 とすると (2) 式より

20 ★波数チャープを、 $f_m t = q + 3/4$ 付近の光ビームは高→低の周波数チャープして周波数が急激に変化することが分かる。この結果、1周期で平均すると周波数スペクトルの高低の両端近くに盛り上がりのある周波数分布となる。厳密には周期関数であるので線スペクトルの集合として記述でき

【数1】

上に振動することになる。よって、開口絞りをフーリエ変換面を中心にして光軸上で前後に変位させることにより、特定の変調状態の光ビームを選択的に取り出される。そして、図3(a)はレンズ作用のない期間中に開口絞りから出射する光ビームの波形を示し、図3(b)は凸レンズとして作用する期間中に出力する光ビームの波形を示し、図3(c)は凹レンズとして作用する期間中に出力する光ビームの波形を示す。開口絞りの位置でビームが最も絞られるときにビームが一番よく透過するので、スリットすなわち開口絞りは時間選択窓として機能する。最も短焦点の凸レンズになったときにはビームウェストは最もレンズ部に近づくので、ここにスリットを配置し、スリット幅を集束したビーム幅程度にしておくと、出力はここにビームウェストが来たとき最大になり、図3(b)に示すアップチャープで周波数広がりの大きい部分が選択的に取り出される。これとは逆に最も短焦点の凹レンズとなるときは、ビームウェストが最も遠くなるがここにスリットを配置すると、図3(c)に示すダウンチャープで周波数広がりの広い部分が選択

的に出力される。レンズ効果のないときにウェストとなる部分にスリットを置くと、一周期に2度ウェストがここを通り、図3(a)に示すように、一方の瞬時ににおいて瞬時周波数の高い部分、他方の瞬時ににおいて周波数に低い部分を取り出され、周波数チャープは殆ど生じない。尚、図3(a)の下側の波形はアップチャープに対して異常分散型圧縮回路を用いて圧縮したときの波形を示し、図3(b)の下側の波形はダウンチャープに対して異常分散型圧縮回路を用いて圧縮したときの波形を示す。

【0021】図4は本発明による光変調装置の変形例を示す線図である。本例では、電気光学位相変調器1の出射側の近傍に、集束性又は発散性のバイアスレンズを配置して、光ビームの集束点を光軸方向に沿って変位させる。尚、バイアスレンズの配置位置は、電気光学位相変調器の入射側近傍であってもよい。

【0022】

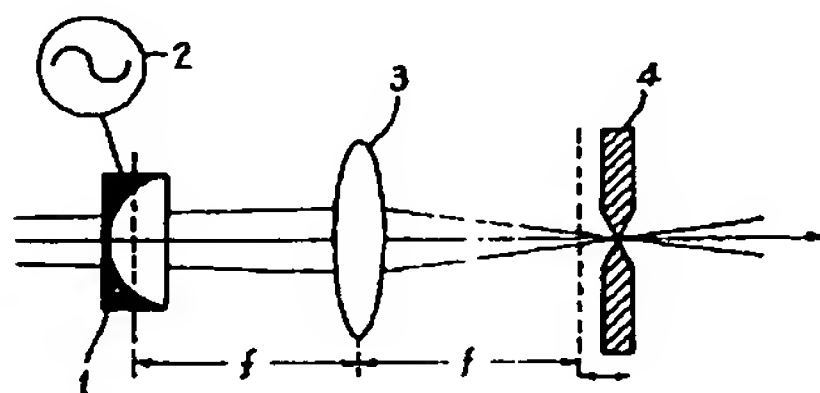
【発明の効果】以上説明した本発明の効果を要約すると次の通りである。

(1) 電気光学位相変調器の変調指数を、中央部から周辺部に向くにしたがって2次関数的に減少するように設定しているから、本発明による変調器は変調指数の異なる多数の変調器を合成したものと等価であり、この結果サイドバンドの分布形状が中抜けになる現象が防止され、一層広い帯域にわたって一様な光サイドバンドを発生させることができる。

(2) レンズ変調効果によるフォーカス部の移動と開口絞りの効果により、変調周期の特定の部分を選択的に多く取り込めるため、例えば周波数アップ(あるいはダウン)チャープ部がドミナントな光出力を得るとか、周波数チャープをあまり含まないサイドバンドを得るとか、出力サイドバンドの特性に多様性、選択性、制御性が持たされる。

(3) フォーカス部がスリットに来たときがピークとな

【図1】



る簡便な光パルス発生が得られる。

(4) 応用も含めた効果：アップチャープ部分を選択的に取り出す場合；ビーム折り返し部（もっともフォーカス点の移動速度が遅くなる点）でスリットにより出力が選択的に取り出されるため、幅広のチャープパルスが得られる。異常分散媒質や異常群遅延分散回路によりペDESTALの少ないパルスに圧縮が可能である。通常の位相変調では同程度の光エネルギーを有する逆チャープの部分も同時に取り込まれ、この部分は圧縮されずにパルス間に残留し、消光比の悪いパルスが得られる欠点があったが本発明ではこの点が解決される。ダウンチャープの場合も常分散を用いることを除けば同一の効果が得られる。

(5) レンズの大きさに対しどの程度の太さの光ビームを通すかを制御することにより、変調指数の分布の幅が制御でき、通常の位相変調器に近いところからレンズ効果の大きいところへと種々のサイドバンド制御ができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明による光変調装置の一例の構成を示す線図である。

【図2】本発明による電気光学位相変調器の位相遅れ、瞬時周波数及びレンズ効果を示すグラフである。

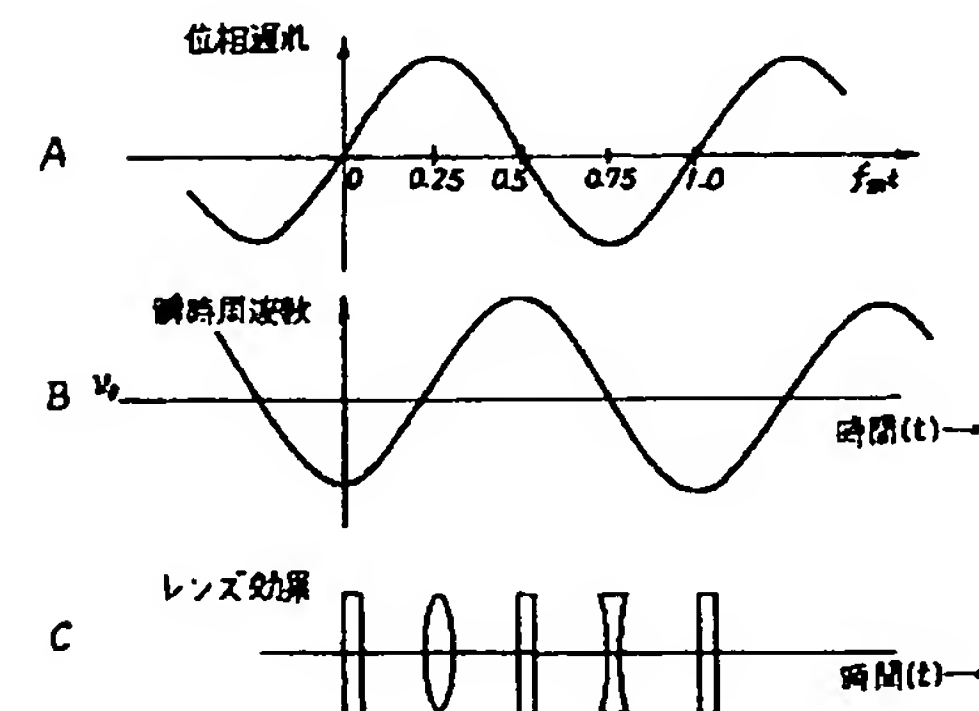
【図3】開口絞りから出射する光信号を示すグラフである。

【図4】本発明による光変調装置の変形例を示す線図である。

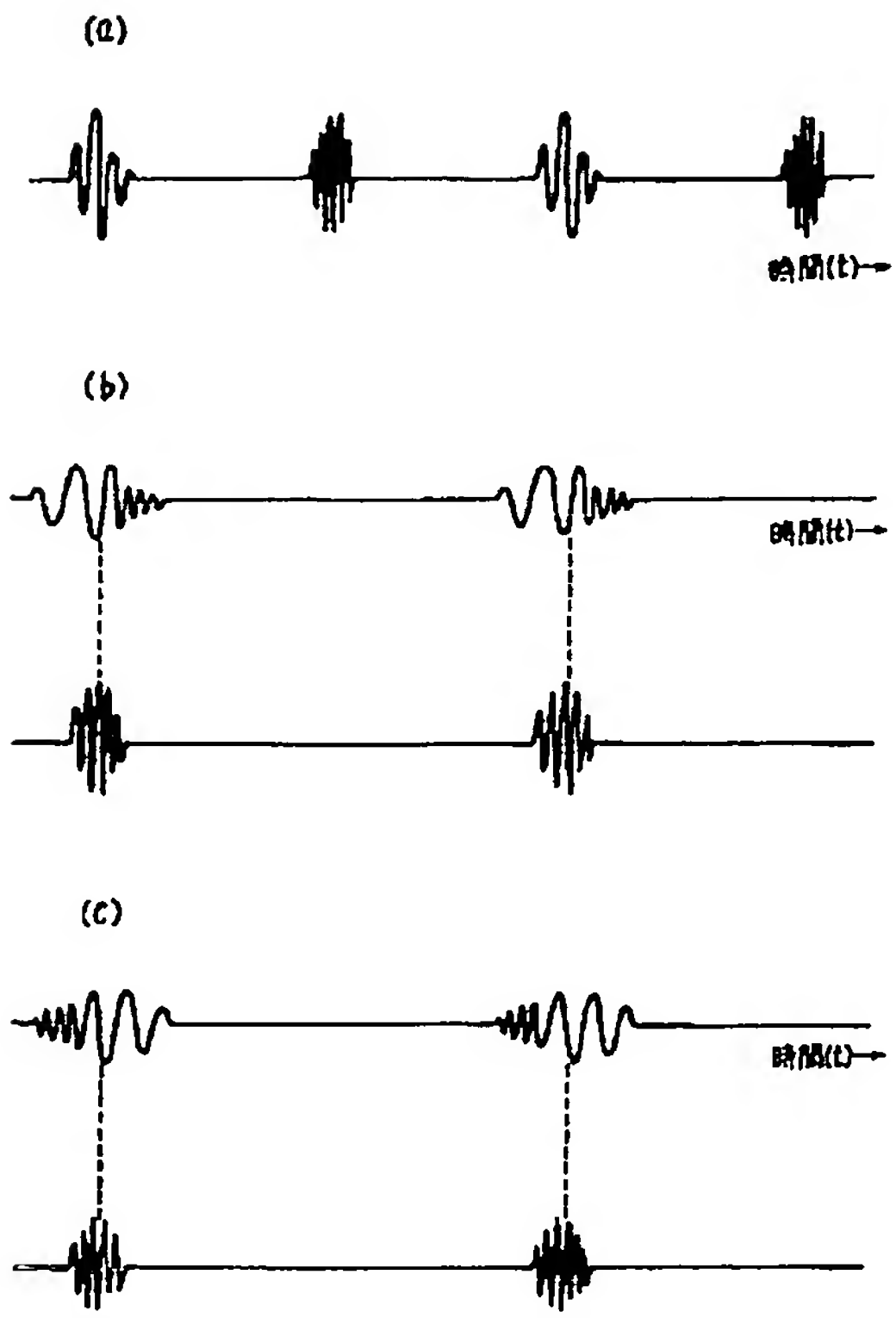
【符号の説明】

- 1 電気光学位相変調器
- 2 電圧源
- 3 集束性レンズ
- 4 開口絞り
- 5 バイアスレンズ

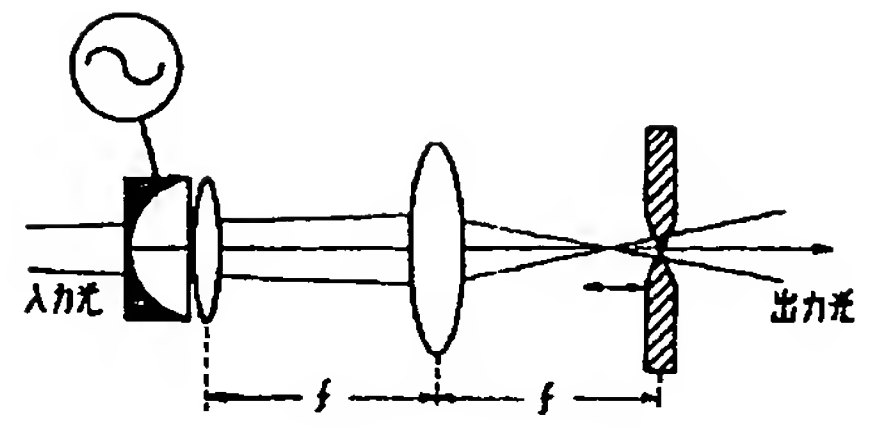
【図2】



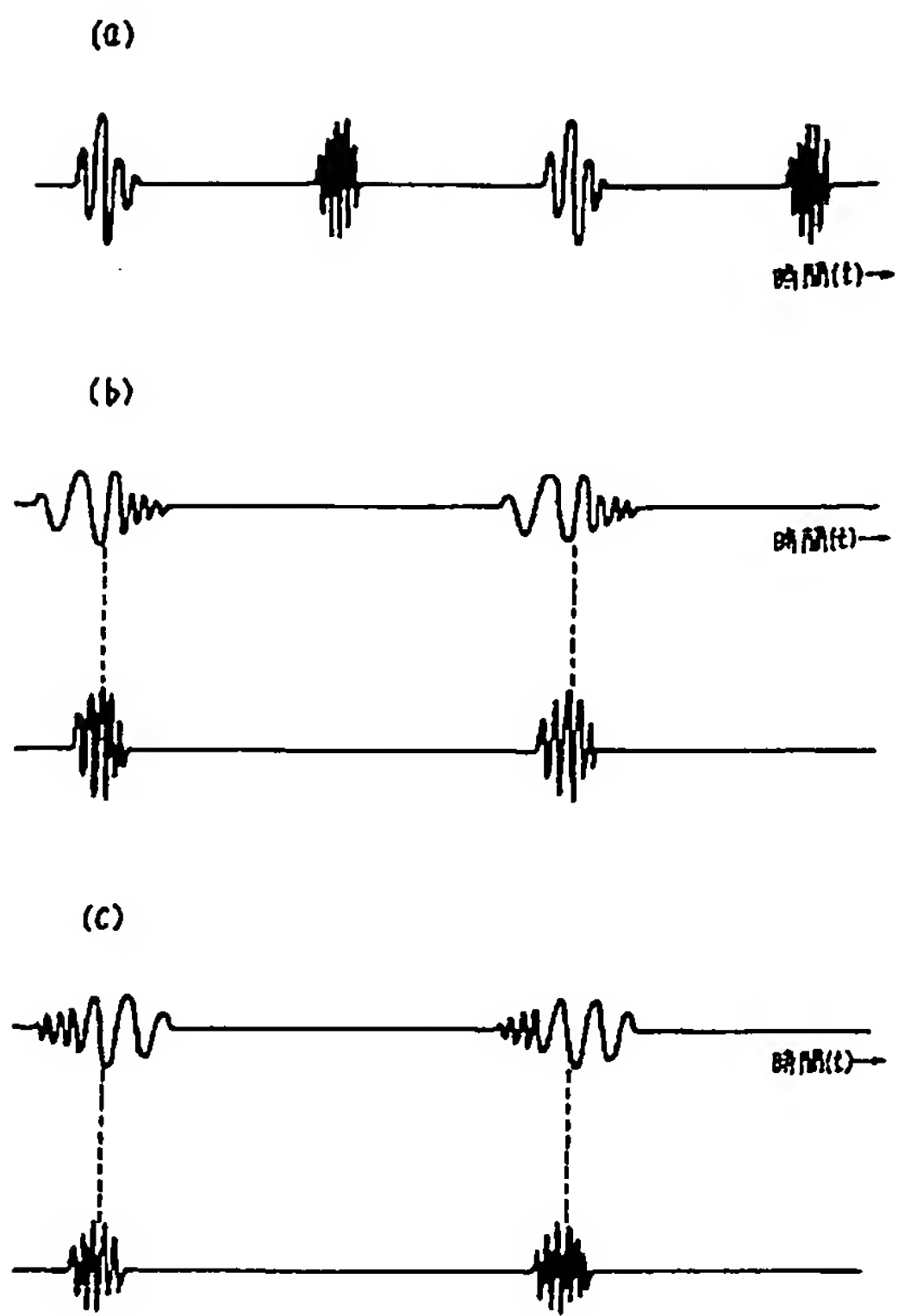
【図 3】



【図 4】



【図 3】



【図 4】

